

УДК 656.072

Е.Б.ЗВАРЫЧ, канд. техн. наук

ГОУ ВПО «Кузбасский государственный технический университет»,
филиал в г.Новокузнецке (Российская Федерация)

УМЕНЬШЕНИЕ ВОЗДЕЙСТВИЯ НА ОКРУЖАЮЩУЮ СРЕДУ ОТ ПАССАЖИРСКОГО АВТОТРАНСПОРТА

Рассматривается рынок пассажирских услуг в городе. Построена игровая модель поведения поставщиков услуг пассажирских перевозок. Доказано существование ситуации равновесия Нэша.

Розглядається ринок пасажирських послуг у місті. Побудована ігрова модель поведінки поставальників послуг пасажирських перевезень. Доведено існування ситуації рівноваги Неша.

We consider the market for passenger services in the city. Constructed game model of behavior of service providers of passenger transport. Proved the existence of a Nash equilibrium situation.

Ключевые слова: теория игр, марковские процессы, городские пассажирские перевозки.

Общественный транспорт в развивающихся странах является одним из важнейших способов перемещения населения в городах. Поэтому возникает необходимость в определении социальных и экономических стимулов при организации работы общественного транспорта.

Обычно в российских городах частные операторы владеют маршрутными такси, которые не предоставляют социальных льгот при проезде. Муниципальный оператор, как правило, обслуживает троллейбусные, трамвайные и некоторые автобусные маршруты. Муниципальный транспорт выполняет важную миссию в обеспечении способности перемещаться по городу социально не защищенным слоям населения, которые вынуждены использовать муниципальный транспорт для перемещения. Кроме того, движение общественного транспорта сказывается на износе дорожного полотна, приводит к загрязнению воздуха, поэтому необходимо ограничивать количество транспортных средств (в первую очередь, автобусов), работающих на городских маршрутах.

Таким образом, рынок пассажирских перевозок является сложной системой с разными целями участников [1-3]. Необходимо выявить, каким образом муниципальные органы власти могут проводить политику в сфере пассажирских перевозок для уменьшения воздействия на окружающую среду.

Опишем основные параметры модели:

N – количество остановочных пунктов, по которым движутся транспортные средства и перемещаются пассажиры;

K – количество частных операторов;

0 – индекс муниципального оператора;

k – индекс частного оператора ($k = \overline{1, K}$);

L_k – количество маршрутов, контролируемых k -м оператором ($k = \overline{0, K}$);

$\mu_{k,l}$ – интенсивность пуассоновского потока общественного транспорта k -го оператора, движущегося по l -му маршруту в единицу времени ($l = \overline{1, L_k}$, $k = \overline{0, K}$);

$\alpha_{k,l}$ – себестоимость одного рейса общественного транспорта k -го оператора, движущегося по l -му маршруту;

$\delta_{k,l}$ – экономический и экологический ущерб, наносимый городу одним рейсом k -го оператора по l -му маршруту;

$\lambda_{i,j}^{(0)}$ – интенсивность пуассоновского потока льготных категорий пассажиров, поступающих в единицу времени на i -й остановочный пункт с желанием переехать на маршрутном транспортном средстве на остановочный j -й пункт ($i, j = \overline{1, N}$);

$\lambda_{i,j}$ – интенсивность пуассоновского потока не имеющих льгот категорий пассажиров, поступающих в единицу времени на i -й остановочный пункт с желанием переехать на маршрутном транспортном средстве на остановочный j -й пункт ($i, j = \overline{1, N}$);

$A_{i,j}^{k,l}$ – принимает значение 1, если по l -му маршруту k -го оператора можно переехать с i -го остановочного пункта на j -й, иначе принимает значение 0 ($i, j = \overline{1, N}$, $l = \overline{1, L_k}$, $k = \overline{0, K}$);

γ_0 – средняя стоимость часа пассажиров, имеющих льготы при проезде на муниципальном транспорте;

γ – средняя стоимость часа пассажиров, не имеющих льгот при проезде на транспорте;

β_0 – стоимость проезда на муниципальном транспорте;

β – стоимость проезда у частных операторов.

В первую очередь, опишем стремление частных операторов повысить свою прибыль. Прибыль состоит в разности доходов, полученных от продажи билетов, и расходов на транспортировку:

$$H_k \left(\left\{ \mu_{k,r} \right\}_{r=\overline{1, L_k}} \right) = \sum_{l=1}^{L_k} \sum_{i=1}^N \sum_{j=1}^N \frac{\beta \lambda_{i,j} A_{i,j}^{k,l} \mu_{k,l}}{\sum_{m=0}^K \sum_{r=1}^{L_m} A_{i,j}^{m,r} \mu_{m,r}} - \sum_{l=1}^{L_k} \alpha_{k,l} \mu_{k,l} \rightarrow \max. \quad (1)$$

В свою очередь, доход муниципального транспорта:

$$H_0 \left(\left\{ \mu_{k,r} \right\}_{r=\overline{1, L_k}} \right) = \sum_{l=1}^{L_0} \sum_{i=1}^N \sum_{j=1}^N \frac{\beta_0 \lambda_{i,j} A_{i,j}^{0,l} \mu_{0,l}}{\sum_{m=0}^K \sum_{r=1}^{L_m} A_{i,j}^{m,r} \mu_{m,r}} - \sum_{l=1}^{L_0} \alpha_{0,l} \mu_{0,l}. \quad (2)$$

Но муниципальные власти не стремятся получить максимальную прибыль, для муниципальных властей важно сократить суммарные потери времени пассажиров, имеющих льготы, пассажиров, не имеющих льгот, а также ущерб городской среде от работы общественного транспорта.

$$F \left(\left\{ \mu_{k,r} \right\}_{r=\overline{1, L_k}} \right) = \sum_{i=1}^N \sum_{j=1}^N \frac{\gamma_0 \lambda_{i,j}^{(0)}}{\sum_{r=1}^{L_0} A_{i,j}^{0,r} \mu_{0,r}} + \sum_{i=1}^N \sum_{j=1}^N \frac{\gamma_{i,j}}{\sum_{m=0}^K \sum_{r=1}^{L_m} A_{i,j}^{m,r} \mu_{m,r}} + \\ + \sum_{k=0}^K \sum_{l=1}^{L_k} \delta_{k,l} \mu_{k,l} \rightarrow \min. \quad (3)$$

В данном случае имеется несколько участников рынка, каждый из которых обладает своими целью и стратегиями. Мы имеем игру $K+1$ -лиц (муниципалитет и частные операторы) со стратегиями $\left\{ \mu_{k,r} \right\}_{r=\overline{1, L_k}}_{k=0, K}$ и целевыми функциями $-F$ и $\left\{ H_k \right\}_{k=\overline{1, K}}$ [2, 3]. В компактной форме игра записывается как

$$\Gamma \left\langle K+1, \left\{ \mu_{0,r} \right\}_{r=\overline{1, L_0}}, \left\{ \mu_{k,r} \right\}_{r=\overline{1, L_k}}_{k=\overline{1, K}}, -F, \left\{ H_k \right\}_{k=\overline{1, K}} \right\rangle.$$

Решением игровой модели является ситуация равновесия. В данном случае равновесие Нэша.

Первым условием теоремы Нэша является компактность множества стратегий. В действительности интенсивность движения транспорта на каждом маршруте неотрицательна. С другой стороны, интенсивность движения не может быть бесконечна. Пассажиропоток огра-

ничен, соответственно, ограничены и доходы предприятий. Из этого следует, что расходы частных операторов ограничены прибыльностью маршрутов, а муниципального – максимальным размером бюджетного субсидирования. Таким образом, можно рассчитать максимально возможный доход на каждом маршруте и получить максимально возможную интенсивность движения.

Вторым условием является выпуклость вверх функций выигрыша каждого игрока по собственным стратегиям. На самом деле, каждая из частей функций (1) и (3) является выпуклой. Для проверки этого необходимо взять вторые производные по собственным стратегиям. Каждая из этих производных окажется отрицательной, поэтому квадратичная форма, из них составленная, имеет только отрицательные собственные значения. Поэтому данная игровая модель имеет ситуацию равновесия Нэша.

Предложенная модель имеет два частных случая. Во-первых, при $K = 0$ не существует частных операторов (или составление всех расписаний находится под контролем муниципальных органов власти). В этом случае мы имеем дело с оптимизацией одной функции многих переменных. Если $L_0 = 0$ – рынок не имеет муниципального транспорта, муниципалитет не может влиять на составление расписаний.

Таким образом, нами построена математическая модель рынка городских пассажирских перевозок. Основными участниками рынка являются коммерческие операторы и муниципальные органы власти. Для этой модели доказано существование ситуации равновесия Нэша. Данная модель позволяет анализировать работу общественного транспорта и принимать правильные решения при организации пассажирских перевозок с учетом уровня жизни населения, интересов коммерческих операторов, возможностей муниципального бюджета и подвижности населения. Всё вместе позволит уменьшить вредное воздействие на окружающую среду от пассажирского автотранспорта.

1.Hollander Y., Prashker J.N. Applicability of Non-Cooperative Game Theory in Transport Analysis // Transportation. – 2006, V. 33 (5). – P.481-496.

2.Лопатин А.П. Моделирование перевозочного процесса на городском пассажирском транспорте / А. П. Лопатин. – М.: Транспорт, 1985. – 200 с.

3.Корягин М.Е. Оптимизация движения пассажирского транспорта / М. Е. Корягин // Грузовое и пассажирское автохозяйство. – 2005. – №3. – С.42-44.

Получено 10.03.2011